

青銅器と石器―文化財の化学分析からわかること―

飯塚 義之

こんばんは。本日は遠いところからよくお越しいただきました。僕が一番遠くから来たと思っただんですが、僕の友人であるアンディさんが、たまたまですけれども、イギリスからお越しです。ありがとうございます。それから、お寒い中、お忙しい中、お集まりいただきまして、ありがとうございます。

今から九〇分間、眠くならないように話をしたいと思っております。文化講座と言いながら、僕はばりばりの理系の人間です。どういう理系の人間かというのをご紹介しながら話に入っていきたいと思います。今、文化財は、二〇年ぐらい前ですか、捏造事件とかがありまして、科学的な分析をきちんとやって、古代の人たちの暮らしを見るとか、

どんな生活をしていたとか、文化がどうやって発展してきたとかという方向に大きく振れています。ただし、科学が万能ではないということを織り交ぜながら、研究の紹介をして参ります。

僕は理系の人間で、対極にいるのが文系の人だとすると、文系の人は理系の人が何か言う、数字をもつて説明すると、それを素直に受けとめてくれるんですね。文系という学問の世界と理系という学問の世界とは少し毛色が違いまして、理系というのは、要はガリレオの世界、あるいはケプラーの世界、ニュートンの世界から、神と対峙するようなことをずっと繰り返してきたわけです。それが理科という学問の歴史で、一方で文系というのは、前の研究に対して積み

重ねていく、先行研究があればそれを踏まえて一つ上に上がっていくという学問のスタイルです。なので、理系の私たちと文系の人たちは思想、哲学が全く違うんですね。僕らは前の人たちを否定するところから始まるんですが、文系の人たちは前の研究をリスペクトする、尊重するところから入っていきます。ここが大きな違いで、そこでいろんな誤解が時々生じる。それは僕と共同研究者の人たちの誤解であつたり、先行研究の誤解であつたり、あるいは数字の誤解であつたりする。そんなところを交えながら、今日は話をしていきます。

キーワードがいくつかあるのでご紹介させていただきますと、まず「青銅器」と「石器」です。それから今日ほとんどの場合、データ、数値とか、画像とか、電子顕微鏡の世界をお見せします。いわゆる「科学的な分析」です。それとなじみはないと思いますが、「中央研究院」。僕は今ここに就職しております、僕は栃木県生まれ、佐野市生まれの日本人ですが、外国の研究機関で仕事をしています。「地球科学」というのは何でしょう。地学というのは聞いたことがあると思いますが、それから「台北」。台北はどこにあるか、ご存じですかね。今夜の話は、大雑把に言うところ、このような内容で参りますが、時々行ったり来たりしますので、どうか話がぶつ飛んだときはお手を挙げていただければ、そこで止めます。また後半、最後の二〇分は質問の

時間があるそうですので、そこでお答えしたいと思っています。台北。「たいほく」とNHKでは言いますが、一般的には「たいぺい」と言います。どこにあるかといいますと、この辺にあります。かつて日本の領地でした。領地という言い方はおかしいですが、日本が一〇〇年間統治していました。今は中華民国という国です。もちろん日本は認めていません。今は台湾、中華民国と正式な国交を持っているのは多分二〇カ国もないと思います。それぐらい寂しいところですが、台湾人が——台湾人という言い方をすると、一番、観光旅行に来るのは日本で、日本人が一番、観光に行くのは、去年、今年は台湾です。そういうところです。今朝僕はここから羽田に飛んできました。二時間半です。近いのでぜひお越しください。皆さん、いらつしやっているとしたいと思います。

さて、中央研究院。耳慣れないと思いますが、中華民国の国の研究機関です。大雑把に言いますと三つにカテゴリーが分けられています。

遠いので詳しく見えなと思いますが、このエンブレムを見てください。「中央研究院」と漢字で書いてあります。横文字ではAcademia Sinicaと書きます。ここにあります。Academia Sinicaとじうのはラテン語のChinese Academyという言い方で、今、北京にある研究院はChinese Academy of Scienceとか、Chinese Academy of Social Scienceとか

乗っています。中国社会科学院、中国科学院という言い方で日本語では言いますが。いわば中国の持っている最高学府です。自分で言うのもなんですが、本当に最高学府です。

エンブレムを見ますと、真ん中にらせんが描いてあります。これはDNAのらせんです。それから、少し見づらくかもしれませんが、元素のオービット、軌道が描いてあります。電子の軌道。物理を表わしている。それから、後ろ側にあるによるの文字は、甲骨文字を表わしています。なぜかといいますと、今日話に出てくるのは、僕がいる地球科学研究所と、見づらいのはもちろん承知で見せておりますが、ここに歴史語言研究所という研究がありまして、ここが中央研究院の中核で、ここから中央研究院が始まったという研究所がありまして、ここは考古学の研究所です。何のためにこの研究所ができたかという、甲骨文字と殷墟の青銅器の研究をするために作られました。

できたのが南京です。一九二八年。この時代はもちろん第一次世界大戦、第二次世界大戦、そのころの非常に激動の時代で、だからこそ、英語が標準語じゃなかった、国際語じゃなかったの、ラテン語でAcademia Sinicaと名前を付けたわけです。そんな歴史的な背景を考えていただければと思います。中華民国が大陸にあった時代、南京が首都でした。そこで創設されました。今でも南京に行くと中央研究院の古い建物が残っています。僕も今年の六月に行

きました。感動的でしたけれども。日本人にとっては南京というのは非常にいろんな歴史があるところですが、南京の人はあまり気にしていないような感じもしますけれども。いろいろ紆余曲折がありまして、また話しますけれども、中華民国は台湾に動いてきて、そのときに故宮のお宝と中央研究院を連れてきたんですね。そこで今、台北に南港という町外れがあるんですが、そこに一九五四年からキャンパスを構えています。

現在三一の研究所があつて、大きく自然科学——地球科学研究所はここにあって、それから生命科学、それから人文科学の研究所があります。工学系がないのが特徴なんです。こういう研究所は世界で類を見ない。それから、院。国立研究所とは書かないんですね。院というのは、それだけで自明で、国の研究所ということを表わしています。台北に來たら、中央研究院にはいろんな博物館がありますので、遠いですけど、普通のガイドブックには載っていませんが、故宮と中央研究院というのは台湾の誇るお宝を持っています。

さて、地球科学。キーワードは長いです。地球科学というのは地球のことをやっている学問です。特に僕はもともと火山の研究者です。

これは今年の七月に灼熱の四〇度、今年の夏は日本は暑かったんですけども、調査に行きました。ここにあるの

が始良カルデラ。今、「西郷どん」でやっていますけど、あそこ舞台ですね。最後の西南戦争の激戦地がここなんですけれども、ここに今から二万九千年前に鹿児島湾をつくったカルデラ噴火というのがあって、これは全部、そこで堆積した火山灰です。三〇メートルある火山灰です。こういう調査をしています。

それから、鬼界カルデラ。これは、最近ジャニーズをやめた滝沢君がこのカルデラの中、海の中に潜って調査したというのが、「ネイチャー」の論文にも載りました。ご存じないと思いますが、画期的な研究をやっています。これも陸上に、これはちょうど南九州なんですけれども、こういうアカホヤという鬼界カルデラが噴出した火山灰がたくさん積もっています。ここは非常におもしろくて、この白いのは、先ほど見せた始良から噴出した火山灰で、ここに茶色く見えるのがアカホヤと言って、この鬼界カルデラから噴出した火山灰で、火山灰が噴出したカルデラ噴火というのは大地震を起こすんですね。その大地震が起きて、下にあった火山灰が液化化して噴いてきた。これは縄文時代の遺跡なんですけれども、考古学と火山学と両方研究ができる、すごいフィールドがあるんですね。今これは鹿児島県の教育委員会が発掘しています。

これはそのクローズアップです。こんなように火山灰が見える。日本はこういう火山国ですので、こういう火山の

研究をしているのが、僕の本職といえど本職で。

米塚というのをご存じですかね。阿蘇のカルデラの中にかわいい小さい火山があります。その噴出物です。これは三千年前に噴いています。三千年前に噴いたときに、隣の大陸の中国でどんなことをやっていたかという話を、今日の前半、青銅器の話をします。日本ではこんな噴火がありました。

どんな地球科学の話に引つ張っていきませんが、例えば二〇一一年、東北の大震災がある二カ月前に新燃岳が噴火して、その噴火した直後の火山灰を地球科学研究所に——こんな立派な建物ですが、持ってきたとして、電子顕微鏡で観察して分析をした。ここに世界に誇る日本電子の電子顕微鏡などがありまして、幸々なことにこれは全部、僕の管理のもとに動かしている装置なんですけれども、こういう装置で観察する。いくつかほかの分析装置もあるんです。この簡易分析装置は、今日の話の後半で出てまいりますけれども、現場に行つて分析をするという、そんなような機械を使っています。

何をしているかというと、火山灰を実験室に持ち帰ってきて分析すると、マグマの温度が分かる。そんなような研究をしています。それは単純に分析すれば分かるというわけではなくて、いろんな実験を重ねた結果なんですけれども、こういう技術を青銅器に応用して、青銅器がどのよ

うに作られていたかということを応用した研究を今やっています。

今日はそういう紹介なんですけれども、地球科学と考古学というのは昔から共同研究が非常にたくさん進んでいまして、例えば年代測定、放射性同位体というのを使つて、この遺跡が何年前の遺跡であるとか、このものがいつ頃作られたものかというのを研究する材料、情報を提供するのには地球科学の研究です。それから、先ほど見せました火山灰の層状を見て、この遺跡がいつ頃の遺跡か、どんな状態で埋もれてしまつたのか、そんなようなことも地球科学が協力しています。それから、岩石——例えば石器だとか、玉器だとか、どんな石で作られていたものを人々は使っていたのだろうか。そんな研究のお手伝いもしています。もちろん、最近では人間の骨とか、DNAの研究をして、人間がどうやって進化してきたとか、あるいはどんな生活をしてきたか、どんな食べ物を食べていたか、そういうことが分かるようになってきました。こうやって科学と考古学は非常に強い結びつきをもっている。

ですので、今日僕がご指名いただいたのも、そんな話をどうぞ紹介していただきたいことだと思つて、二つ、トピックをもってきました。一つは青銅器、後半は玉器の話です。

例えば陶器、焼き物があります。いろんな焼き物があり

ますけど、電子顕微鏡で見ると、こんな感じで中身が見えたりします。ここに変な形でちよろちよろ見えたりするものが、実は火山灰なんです。これは実は、大隅半島の先端にある、昔の言い方でいうと大隅という国の国分寺——七世紀に国分寺が造られ始めましたけれども、そこで使われていた古代瓦の断面です。これを見て何が分かるかというのと、噴出したマグマの火山灰の温度もわかるんですけれども、それより低い温度で焼いているということが分かります。つまり、現代の瓦というのは実は一四〇〇度ぐらいで焼いているんですが、マグマというのは一二〇〇度ぐらいしかないんですね。つまり、このころの、七世紀ぐらいの瓦を焼く技術はそこまで温度を出していなかったというのが最近分かりました。これはまた別な機会があれば話しますが、それでも、こんな研究もできます。

あるいは、玉器。今日後半にこの話をします。

それから、ガラス玉。何の元素を使つてどんな色をつけているのか。こんな研究もやっています。

それから、今日のメイントピック、青銅器です。これは殷墟の青銅器です。青銅というのは分かりますか。単に一口で青銅と言われても、何だろう。読み方ぐらいは分かりますね。これは、金属でいうと銅と錫から作られている合金で、人類が初めて作つた合金です。メソポタミアで約七千〜八千年ぐらい前に作られ始めたと言われていますが、

銅だけじゃない。銅に錫を混ぜることによっていろんな加工技術ができるということを発見して人類が作り始めた。人類史上一番古い合金です。元素記号で書くとCuとSnです。CopperとTin。元素記号が時々出てきますので、この二つぐらいは今日は覚えていつていただければと思いますけれども。よろしいですか。

それからよく聞きます、真鍮。プラスチックのプラスチックね。これは諸説ありますが、一五〜一六世紀ぐらいに一般的に作られるようになりました。これも中国で発明されたものですが、こちらは銅と亜鉛の合金です。ちよつと違う。一番簡単に言えば五田玉が真鍮ですね。錆びないんです。でも、青銅はよく錆びる。緑青とか聞いたことがありますか。銅像が立っていると緑色になりますよね。あれで青銅とみんな思っているかもしれませんが、実は青銅の色はそんな色じゃないんですけれども、楽しみにして見てみてください。

今年の今回三つあるシリーズの中で、僕は三番目を承っておりますが、先月、三船先生、西江先生がしゃべられた内容というのは、観察からいろんなことを知ろうというアプローチだと思いますが、僕は科学者ですので観察だけではつまらないので、中身を見たい、どうせだったら化学分析をしたい、そういうアプローチの研究者です。通常はもちろん、一般的な、非常に大事なことです。観察をして大

きさ、形、用途などを推定して、あるいは表面の文様などを見てその意味、文化的な意味、歴史的な意味、宗教的な意味を考える、それこそが考古学ですけれども、それとは違う技術史を考えていこうというのも一つの考古学のあり方だと思います。それには科学の力が必要なので、僕が少しお手伝いをさせていただいているところでしょうか。

青銅器を分析する。文化財ですので、いろんな局面、いろんな観察の仕方があるんですが、端的に言いますと、破壊してしまうのか、非破壊のまま見るのかというところなんです。文化財を破壊するのはもちろん言語道断という方もたくさんいらっしゃいますが、破壊することで分かることもある。あるいは、破壊しなくても分かるんだつたら、それがもちろんいいわけですが、その辺はいろいろあります。

破壊せずに分析するというのはいろいろありますが、一つは、X線CT。もちろん表面観察もありますが、色を見る、形を見るといいうのはもちろんそうですが、X線を透過させて中の構造を見たい、そんな分析の仕方もあります。それから、X線回折といまして、表面にX線を当てること、表面がどんな化学組成なのかということを知りたい。あるいは、どんなものがついているのか、知りたい。象嵌と言つて石を埋め込んだりしてある造形もあります

どんな石を使っているのかというのは、表面観察でももちろんできます。それから、もちろん表面の化学分析もできます。

これは典型的な、最近、高精細デジタル映像というのが普及してきまして、非常に精密で、デジタルで画質が非常に高い写真を撮るといって技術が発展していますので、そんな写真もある。非常に遠いところから広い範囲をきちんと撮るといふようなこともあります。

こちらは京都にある住友グループがもっている泉屋博物館という博物館で、東山にありますけれども、ここが恐らくは世界で一番の中国青銅器のコレクションを持っています。常設されています。ご興味があれば、ぜひいらしてください。

それから、X線CTは、人の病気を見るときにも体の中の断層写真を撮ったりしますけれども、人間の体はやわらかいものでできているので、やわらかいX線で通しますが、金属を通す場合は強いX線を使って中を透過して見ようということになります。

これは九州国立博物館、太宰府の隣にありますけれども、これの研究室、実験室で、日本で一番最初に導入された画期的な考古学に対して使った装置なんですけれども、ここに青銅器を置いて、くるくると回してX線を透過させる。もちろん人間は入れません。簡単に被曝します。

こんな感じでターンテーブルの中に仏像を入れたり、遺物を入れたりして、くるくる回しながら写真を撮るといふようなことをやります。

これを外からモニターして見ると、あら、不思議、中が透過されて見えるというような形で、どんなふうに組み合わせられているんだろうか、どんなふうに作られたんだろうかという、そういうヒントを観察によって得ることができます。

それから、こちらは先ほどの泉屋博物館で副館長をやっています廣川さんという方なんですが、こういったポータブルなX線装置を使って表面分析をしたりして、これは青銅なんだ、これは亜鉛なんだ。そんなことも分かる。これは金だ、銀だ。金だと思ったら亜鉛だった。こんなこともあります。

それから、こういうだんだん理科学的な感じの装置になってきますが、精密な分析をする。微量元素、ちよつとしか入っていないような元素とかがあるんですが、そんなことを分析したりするような機械。

破壊の分析方法というのもあります。もちろん今お見せしたのは二〇世紀の技術で、一九世紀後半とか二〇世紀前半というのは、物を破壊して溶液にして溶かさないと分析できなかったんです。特に化学組成は。それで、アメリカのワシントンDCにあるスミソニアン博物館とかにたくさ

ん貴重な中国青銅器のコレクションがあるんですが、その時代、戦前、大戦直後、それぐらいの時代に研究された内容のものというのは、実は青銅器にたくさん穴があいていて、溶液化して分析していた、そんなような時代がありました。それは破壊法です。

それから、僕がやっているのも破壊分析なんですけれども、切り出して金属の断面を見ようというような研究をやっています。これは僕の研究室にあるX線電子線プローブマイクロアナライザという装置なんですけれども、これで化学的な分析をするというような装置があります。非常に狭い範囲なんですけれども、例えばこれは同じ画面が四分割されているんですが、ここに見えるスケールが一〇マイクロメートル（ミクロン）です。一〇マイクロメートルというのは一〇〇〇分の一〇ミリメートルです。差し渡し、人間の髪の毛の断面ぐらいだと思ってください。これは青銅の例なんですけれども、銅があつて、錫がある。これは当然なんです、普通の電子顕微鏡で見ると、こんな形になりましたとか、こういう感じで見えるんですね。

では何だというところがまた不思議なので、あつたからどうだと。これは今までの話をざっとまとめたんですが、一番最後のここがポイントなんですけれども、材料や冶金技術——冶金技術というのは金属を作るといふ技術ですが、金属製品を作る技術の研究には、内部の金属組織の観察と

微細組織の観察、化学分析が必要だろうというふうに思いまして、いろいろアプローチをしている。

これは現代の冶金学で求められている相図と言われる図で、非常に難解なんですけれども、金属をやっている人か、マグマの研究をしている人だったら簡単に読めるんですね。僕はマグマの研究をやっていたので、すつと入れた。

何を示しているかといいますと、横軸に銅と錫の比率が書いてあるんですね。銅がいっぱい、銅が百パーセントのときは一〇八三度で溶けます。錫は二三二度で溶けます。だけど、それを混ぜると違う温度で溶けるようになります。そういうことが分かります。ということは、逆手にとれば、金属組成が分かれば、何度で溶かしていたかという技術が分かるということです。これを踏まえて研究をしています。つまり、古代の青銅器でも、その成分が分かれば、そのときの技術が分かる。そのときに青銅器を作っていたという技術が分かる。そういうことです。

ちよつともつたたいをつけて、カーテンのように。殷墟という場所をご存じですか。西江先生が解説してくれました。殷墟というのは、殷の都という意味です。ここから青銅器がたくさん出土しています。これを掘ったのが中央研究院です。場所は今でいう中華人民共和国の河南省というところにあつて、北京から新幹線で二時間ちよつとで行けます。ここにあります。今の町の名前というと安陽市とい

うところであって、ここに、二〇〇六年に世界遺産に登録された殷の都、殷墟があります。殷墟というのは古い言い方なんですけれども、その当時はみずから自分の国のことを商と名乗っていたので、商代の都と言い方もありますが、商の時代にはいくつか遷都をした。都をいくつか移っているのも、その中でも安陽に都があったその場所のことを殷墟と限定的に言います。紀元前一三世紀から一一世紀。今からという言い方をすれば、三千年近く前の都です。もちろん人間が住んでいた。

そこで中央研究院は、一九三三年から一九三〇年代まで発掘をして、中断して現在に至ります。なぜ中断したかという、日本陸軍が攻めてきたからです。こういう時代です。

今、殷墟は安陽という町に——これはちよつと見づらい地図なんですけれども、二つ、大きな発掘しているところがあります。中央研究院が発掘したところは、王様の墓があったところと、それから宮殿があったところを発掘しました。つまり、ここが商の時代に一番栄えていた、あるいはここで埋まっているものは、商の時代の王様のお室に近いようなもの——副葬されていたという言い方が正しいですけれども、そういうものが出土している。つまりは、この副葬品を見れば、特に青銅器なんですけれども、その時代の最高品質の、最高技術のものが分かるということが

考えられると思います。

実際に現在は王墓あるいは宮殿区以外に、安陽の町はほとんど開発されているんですが、いろんなところで発掘も進んでいます。中国社会科学学院の考古研究所という研究機関が発掘を毎年続けています。もちろん中央研究院も共同研究をやっていますが、そこから出てくる青銅器というのは、生活に使っていたものであったり、あるいは模造品であったり——模造品という言い方はおかしいですけれども、何かまねて作っていた、そんなようなものが出てきたりして、決して王様から出てくるような……。すばらしいかどうかはぜひ泉屋博古館に行つて見る、あるいは中央研究院に見に来てください。とても面白いものがあるんですが。

これが発掘の光景です。一九三四年、この年は何があった年か、知っていますか。東郷平八郎が亡くなった年です。あるいは、溥儀が満州国の皇帝になった年です。あるいは、ドイツでヒトラーが総統と名乗った年です。そういう年です。この年に中央研究院は安陽で発掘をしていました。

ここに人が二人、立っています。スケールですね。一五〇センチメートルぐらいと考えてもらえばいいと思います。副葬されていた青銅器。四方向に墓道がついています。副

それから、こういう大きな青銅器。重さ五〇〇キログラ

ム、八〇〇キログラムぐらいあるような青銅器が発掘されています。

あるいは、これは槍の穂先なんですけれども、約七〇〇個——数えていませんが、突き刺さった状態で発掘された。恐らくは木の箱に入っていただろう。木の柄がついていただろう。それが有機物で木は腐ってどこかへ行ってしまうので、金属だけが残って、箱もなくなつて、突き刺さった状態である。

研究している時代というのは、もう一回、言いますと、紀元前一四〜一二世紀、この時代です。殷墟一期から殷墟四期という、約三千年前と大雑把に考えていただいて、その後、商という帝国は西周に滅ぼされます。西周が紀元前一〇四六年に興ります。もちろん多少は時代が重なっているところもあるんですが、中国の版図は西周に移っている。こういった時代です。青銅器というのは、この夏という、これぐらいの時期に生産されるようになって、この殷墟の時代に最高潮になります。そして、西周に移っていく。殷墟青銅器の特徴というのは、大きく三つの特徴がありまして、一つは、多種多様な器種。二つ目は、立体的です。精緻な文様を持ちます。これは読めますか。大学生の人、読めますか。饗餐文と言ってますね。それから、分鋳。これは鋳型を組み合わせてつくる。これが三つの特徴です。

どういう特徴かといいますと、いろんな器種がある。武

器があったり、礼器、お酒の壺、あるいは何かの容器だったりするんですが。それから、これはヘルメットです。こんな立体造形です。

それから、表面にもものすごく細かい文様がついています。これを何と言いますか。饗餐文です。これは、一説によると、今のラーメンのどんぶりの雷文に変わっていくと言われています。本当かどうかは分かりませんが、こういう、うにうにしたものが……。今夜、お腹が空いてラーメンを食べに行ったら、こんな模様がもしかしたら縁についているかもしれません。それが古い歴史が古い文様です。

いいですか。鈴木舞さんは中国考古学の専門家ですので、鈴木さんにいろいろ伺っていきましょう。

それから、先ほどCTスキャンの画像をお見せしましたけれども、こういう細かい彫り物をした、これは鋳型と言いますけれども、ものすごく細かいです。後半に電子顕微鏡の写真をお見せします。これは、ここに饗餐文がついていますね。こういうふうに組み合わせて溶かした金属を流し込む。

溶かした金属を流し込むという技法を鋳造と言いますが、これも、鋳造というのは東アジアで非常に発達した技術です。ヨーロッパでも金属器を使いますが、ヨーロッパでは鍛造が多いですね。鍛造というのは、たたいて作る。東アジアの典型的な技術というのは鋳造です。それも殷墟では、

こういう細かい鑄型を組み合わせて作る分鑄であつたり、あるいは范をいろいろ重ねて作つたり、立体造形をする。

時代はどんどん進んで、例えば漢鏡、中国鏡がありますね。平たいじゃないですか。こんな立体造形じゃないんです。あれは二つの鑄型を張り合わせて、そこに「湯」を流す。「湯」というのは、溶かした金属のことを「湯」と鑄造の人たちは言うんですけれども、これに比べると非常に単純な構造の鑄型なんですね。だけれども、この時代、殷墟の時代、三千年前の中国ではこんなような技術が発達していた。

これにまつわる話は僕なんかよりも専門家の話を聞いてください。実は今週あります。宣伝です。泉屋博古館は六本木に分館があります。東京分館。そこで一六日、日曜日の午後にミュージアムトークをやります。さつき写真に出てきた廣川さん、それから九州の芦屋というところで今、芦屋釜、茶の湯に使っている室町時代からあつたという伝統工芸なんですけれども、それを最近復興させた二人のおじさんがいまして、その人たちがやってきて、技術に関してお話をするというのがあります。それから、ギャラリートークというのが一五日にあります。これは若い学芸員の山本君、イケメンで賢い山本君がしゃべります。それから、美しい森下愛子さんがもう一つしゃべりますので、ぜひお暇でしたら六本木に行ってください。キーワードで検索す

れば、この情報は取れますので。泉屋博古館です。住友コレクション。今の二つ前の、先々代の住友さんが、世界中——中国からですけれども、集めた世界最高のコレクションがありますので、ぜひ見に行ってください。

話を戻しますが、殷墟青銅器を研究する意義です。何度もしつこく言っていますが、最高の青銅器技術なんです。それから、発掘品であること。それも、王様や宮殿から発掘されたもので、記録が残っているんですね。もちろん台湾にいらつしゃれば、台北にいらつしゃれば、故宮のお宝——ものすごいお宝がありますけれども、あれは発掘品ではないんですね。文化的な、もちろん芸術的なものとしては最高級のものですが、これは発掘品なんです。いつの時代に何のために埋められたかというのが分かる。これが違います。それから、その発掘されたものが台北に収蔵されているんですね。全部持ってきました。それを全く分析していなかったので、分析してしましましょうというのがこの研究の意義です。

それは、この話の一番最初に申し上げたとおり、最近では文化財を化学分析をすることで、もつと深く知つていこうということもあります。時代が殷墟発掘から八〇年、九〇年経とうとしています。発掘した人たちが亡くなつていて、発掘した人が亡くなるということは、発掘品、出土品に対する思い入れがある人がなくなるんですね。物が感情を持

たなくなるんです。感情を持っている人がいなくなると、物が物として扱えるようになる。これは、発掘された方は分かるかと思いますが、どうしても出土品、発掘したものというのは感情が入ってしまつて、あまり人に触られたくないとか、いじるなよとか、切るのかとか、そんな話になるんですが、時代が進んでいくというのはそういう効果もあつて、分析できるようになりました。

いい時代といえはいい時代です。何といつても平和です。日本と中国は表面上は戦争していませんし、僕が日本人であつて、台北にある中国のものを研究できるんですから。すごいと思いませんか。戦争をしていた時代に発掘されたものを、今、日本人が研究できるというのは、ものすごい時代だと僕は思っているんですね。

話を戻しますか。少し飛びますけど。いろんな時代のものから、漢字がばつと並んでいます、いろんな種類があると思つていただければいいんですが、もう一つ、気になっていることがあつて、これは文系の古文書の話なんですけれども、殷の時代から時代を遡りますが、紀元前九世紀、七世紀に『周礼』考工記という一つの技術書が書かれています。そこに「金有六齐」という、こういう漢文です。日本語に訳しますと、鐘と鼎、例えば鐘を作る、矛を作るときには、こんな配合で物を作りなさいという技術書が書いてあるんですね。基準書みたいなのが書いてある。

考工記というのは、単に青銅器の作り方だけ書いてあるわけじゃなくて、城郭をどういう長さで作りなさいとか、そういうことも書いてある。建築とか、技術とか、いろんなことが書いてある。そこに青銅器の作り方という一節があつて、こういう配合で作りなさいということがあるんですね。これもちよつと気になっているんです。これが本当なのかどうか。

これは一九一八年の論文なんです、日本人の研究者が解釈しました。当時、銅という言葉がなかった。それで、金というのを青銅と考えるか、金というのを銅と考えるか、二通りの解釈をしたんですね。それで、配合比を考えて数値化した。そうすると、これは銅と錫だけの配合比なんですけれども、一説は、錫の量です。十六パーセントあるいは一四パーセント。二対一で混ぜるか、一対二で混ぜるかで比が変わりますけれども、二対一で混ぜれば、三三・三パーセント。三分の一ですから、単純な計算です。それから一対一で混ぜれば、五〇パーセント、五〇パーセントですね。そういうふうに解釈して後世に残した。本当ですか。誰か確かめましたか。分析していないから分からないですね。これも分析すれば分かるんじゃないですか。そんなきつかけもあります。

あの表は、後で三回ぐらい出てきますので、またお楽しみにしておいてください。

実際にどんな分析をしたかといいますが、ちゃんとした博物館に飾られるようなものを切断するわけではなくて、破片です。昔の発掘品なので、修復できない部分もある。破片がいくつも残っているの、こういった破片を使わせてもらいます。だけれども、どんな器種、どんなものの破片なのか、あるいはどんなお墓から来たのか、これは分かっています。これが発掘品、出土品の強さです。

こんなふうに切つてしまっています。僕が初めて中国の学会でしゃべったときは、中国の学者さんがみんな引き潮のように引きました。そして、アメリカから来ている学者さんらが大喜びで笑っている。もつとやれ、そんな顔をして僕を見たのを今でも覚えていますが。

処理するのは、僕が常に岩石を分析している処理と同じです。切断して、埋めて、研磨する。これは共同研究者の内田純子さんです。今日はお顔を見せないでと言われ……。

それで、電子顕微鏡で見ます。電子顕微鏡の画像は、少し見づらいですけども、こんな感じで白黒の画像で見えます。後でまた詳しい画像が出ます。

例えば、尊（たてまつ）と言われるような破片を分析しました。例えば、觚（こ）と言われる、今でいうワイングラス、お酒を飲むときに使っていたもの、それを分析しました。

それから、ヘルメットの一部分。また後でお話ししますけ

ど、ものすごく薄いんです。二ミリメートルしかないんです。現代の青銅器のお土産品を買うと、四ミリメートルもあるんです。その半分ぐらいの技術があったんですね。なので、切らないですけれども、完成品を持つと、金属でありながら意外と軽いんですね。僕らの頭では結構、重そう、こんなのをかぶれるのかというぐらいの重い感じに思えるんですけど、実はものすごく肉厚が薄くて、軽いんです。

これもすさまじい技術なんですけど、これは戈（か）と言われるような武器なんですけれども、断面を切つたりすると、こんなふうに金属組織を観察することができます。

青銅というと、ブロンズといいますが、皆さんが想像するのは、表面が緑色になっている。これは錆です。実際に切断すると、錆が中まで回っていたり、あるいは金属がそのまま保存——保存というのは、作られた状態のままで残っていることもある。この例は非常に保存が悪くて酸化してしまった例なんですけれども、こんな例を見ますと、中の組織がぐしゃぐしゃになっている。どうぐしゃぐしゃになっているかというのを、これを記憶に留めておいていただきたい。いい例を後でお見せしますの。

実際に分析するのは、この四元素を分析しました。青銅の中で何で酸素を分析しなければいけないのか。これはミソなんですけれども。

青銅は銅と錫という二つの元素があつて、鉛が入っています。鉛というのはすごくユニークな元素で、現在のガラスの中にも入っていたりするんですけど、鉛を入れることで、この二つの金属の溶解温度を下げる作用があるんですね。ガラスを作るときもそうです。クリスタルガラス、ベネチアンガラスとかと言つて、ちよつと重いカットガラスがありますけれども、鉛が入っています。もちろんガラスの中に封印されているので、それに口をつけても健康上、問題はないんですけども。鉛を直接飲むと、難聴になったり、神経性の病氣になったりしますが、鉛を見てあげる。それから、酸素です。なぜ酸素かというと、緑青というのは酸化物なんです。これはわざと見せないようにしているわけではなくて、参考のためにちよつと見えなくすると。こういうことをやると、誰が聞いているかがすぐ分かるんです。緑青というのは銅が酸化して、銅と酸素がくっついている状態があります。なので、金属の中の酸素を分析すると、それが酸化しているか、つまり腐食しているかどうか分かる。

それで、こういう装置を使って二〇〇個ぐらい分析をした結果を今からご紹介していきます。

きれいな金属の場合は、銅と錫がこつやつて木の枝のように結晶をつくるんですね。青銅というのはすごく不思議で、金属が固まるときに銅の成分が多いところから固まっ

ていつて、だんだん錫の成分が多い金属をつくつて完全に固化する。固体になります。金属となる。そのときに、実は鉛がいろんなところに点々としていて、鉛というのはこういうところに、これはカラーの図なんですけど、暖かい色は、いっぱいある、冷たい色は、少ないということを示しています。いろんなところに核があるんですが、この青銅はここ、一番赤が強いところから固まり始めるんですね。こつちで見ると、錫が一番少ないところ、ここが固まり初めの最初の部分です。それから、だんだん外側に広がっていつて、あつちでもこつちでも固まりになったものが繋がつていつて、最後にこんな形になるんですが。

ここに鉛があります。鉛は金属の中に入り込めない。鉛は溶けているときは仲よしで、鉛がいると金属が溶ける温度が下がるんですけども、一旦固まり出すと、金属は金属同士で仲よくくっついて、鉛は要らない。これは析出、*precipitation*と言うんですけども、鉛はいろんなところにはじき出されていく。こんな作用があるんです。これも観察できるんですね。

それから、前々回の三船先生の顔をこちらにご紹介しますが、けれども、三船先生と僕は共同研究をやらせていただいて、飯塚はここにいまして、自分で実際に鑄造をやります。何をしているかという、自前で標準化学物質をつくる。鉛入りの青銅をつくる。鉛入りの青銅というのは、世の中

に売っていないんですね。その調合比をいろいろ変えてつくっている。それを自分の分析に使う。そこから始めました。鑄造実験をやつて、鑄造の実際を知るというのももちろんあるんですが、「湯」です。流し込んで、標準化学物質をつくる。

作り方なんですけれども、銅は量り取る。重さを量る。これは錫のインゴットで、売っています。これを量り取つて、坩堝に入れて、火にくべて、これは砂で作つた鑄型で、ここに流し込んで、取り出して、実験室に持ち帰つて切つていく。そうすると、こつちは錫が五パーセント、こつちは錫が二八パーセントというのを作りました。小さくしてやるだけですけれども、実際は三〇センチメートルぐらいのものを作つて、分析用に切り出しています。

色が違うのが分かりますか。赤銅色。ちよつと赤っぽい。銅の色ですね。錫がちよつとしか入つてない。錫がどんどん増えていくと、銀色に変わっていくんですね。これも青銅器の特徴です。例えばどこかの神社で御神体と言われているような鏡は銀色に輝いていますけれども、あれは全部青銅です。錫がたくさん入つた青銅。

こんな感じで、実際に重さを量つて、それを溶かして、それを標準物質として分析する。どうやつて分析をするかという、先ほど言いましたように、青銅の中は実は平均的に化学組成が均一ではないので、いろんなところで分析

をしてあげる。

拡大写真がこうやつてあると、ここに鉛があつて、ここに銅の濃いところがあつて、薄いところがあつて。こんな形のを平均的に分析することで化学組成を決めていく。あるいは、表面研磨したところを、一〇〇カ所とか、二〇〇カ所とか測つて、その平均値を取つて、この青銅はどれぐらいの組成のものであるかというのを決めてあげる。

これをやっていると、これは、量り取りの比率です。これは錫が何パーセント入っているかという比率で、実際に四種類の分析方法で測つたんですけど、どの方法で測つても、量り取りと同じ比率で出てくるので、標準物質もいいだろうし、分析も間違いないだろうというようなことでした。

しかし、分析というのはいつても誤差というのを伴うんですね。その誤差を考えると、プラスマイナス一・六パーセントぐらいの誤差というのは必ずついてくるので、それより細かい議論をしてはいけませんよということが分かります。これは化学分析の手続なので、あまり詳しく理解されなくてもよろしいですけれども。

実際に分析をします。さっき破片だと言つたのに、これが破片に見えるのか。実際に切ると、これが切つた断面ですが、金属の色がきれいでしょう。これが本当の青銅の色

なんですね。ちょっと赤っぽい、真鍮の色といえば真鍮の色ですけれども、こんな色の金属が出てきます。

これを、先ほどもお見せしましたけれども、電子顕微鏡で観察してあげると、こういうふうには拡大していくと、どんどんきれいになる。鉛がこういうふうには析出している。つまり、この状態さえ観察できれば、三千年前に製造したであろうというその状態を読み取ることができるだろうというふうに解釈することができまう。

観察は、我々にとって電子顕微鏡の観察なんですけれども、こういう手続も重要で、では、実際にこれを昔ながらの方法で溶かして分析したらどうなるかという、腐食していたかどうかすら分からない。変なデータが出て、もうなくなってしまうから。観察してフィードバックして、破片で修復できないものであるならば、これぐらいは大目に見ていたでいて分析をしようというところ、殷墟の青銅器を多数切りました。きつとギネスブックで認めてくれるなら、僕が世界一です。他にいませんから。

なので、すごく責任を感じます。さっきの「こんなデータの取り方をしていますよ」というのも、「これだけ注意して分析していますよ」という科学者としての手続なんですけれども、それもちゃんとお見せしたいと思っているんで

すね、こういう発表をするとき。もちろん学術論文を書くときも書いていますが、一般の方にお話しさせていただくときも、「これぐらい気をつけていますよ」ということをお話ししたいと思っています。

実際にこんなふうに見えたらオーケーだと。分析をちゃんと解釈できる。そういうふうにしていつて、二〇〇個切つて、九七個ぐらい、腐食が進んでいて研磨できなかったり、明らかに組織が観察できなかったりする。残念ですけれども、半分ぐらいは腐食しているんですね。諦めて分析した。そうすると、これは何が分かるかというと、相図に当てはめます。そうすると、銅の比率でいうと九六〜七八パーセントで、製造温度が、ここに温度があるんですけど、一〇七〇〜八三〇度ぐらい。ここはメモしないでください。これは嘘ですから。なのかなというふうに、製造をやっている人に相談すると、「そんな低い温度で製造できるわけねえだろう」と、返ってくるんですよ。

ねえ、松本さん。松本先生は、武蔵野美術大学でギリシャのブロンズの研究を、再現実験をされている先生です。

何かおかしいなというので、また分析に戻るんですけども、ヘルメットはたくさん出土していて、ばらばらに破片になっているものが多かったので、ヘルメットを中心に分析してみました。これは二例お見せします。

この白黒で見えるのが、普通の電子顕微鏡写真で、断面

です。スケールはといって、どれぐらいの大きさかというのを示しているんですが、これが一ミリメートルです。金属を流しているのに二ミリメートルの厚さしかないんです。これも三、四ミリメートルぐらいの厚さしかない。それも、きれいな均一な厚みじゃないですか。鋳型でこれぐらい均一に作っているんですよ。すごい技術なんです。

これを、元素マッピングといって元素ごとに見てあげる。こういう範囲を元素で見ました。これが銅、錫、酸素。こっちも同じです。この範囲を銅、錫、酸素で見ました。表面に関しては緑青が吹いているので、酸素が青く光って見える。酸素があることが分かっている、ここが酸化しているというのが分かるんです。でも、中身はきれいじゃないですか。

でも、これに騙されてはいけなかったんですね。これをさらに、ここの範囲についてさらに細かく見ていく。そうすると、これまた差し渡し二〇マイクロメートルですから、人間の髪の毛より狭いようなところを見る。そうすると、これは拡大図です。ここの辺、中心付近の銅、錫、酸素。これはほとんど酸素がないので、酸化していないというのが分かるんですが、これは組織の中に酸素が入り込んでいます。実は酸化していたということが分かります。

これで慌てたのは僕です。発表しなくてよかった。全部分析をやり直しました。二年かかりました。面倒くさいん

です、科学は。丁寧に分析していくと、こっちは酸素がちゃんと分析できるんですね。

さすが日本電子。日本電子の技術の人が今日お見えになつていらっしゃるんですけど、ありがとうございます。技術があつてこそ科学なんですけどね。

こちらは新鮮な金属。新鮮というのは三千年前から全く変わっていない。酸素がない。誤差範囲の中ではあるんですが、ほぼない。これをちよつと複雑な表で見せますと、これは、横軸が錫と銅の比率で、縦軸で酸素の量が分かる。腐食しているものは、酸素の量が増えるに従って、錫と銅の比率もどんどん変化していくことが分かりました。実際に全く腐食しないものは、ここに張りついています。酸素がゼロです。そうすると、その銅と錫の比率もこの中に収まっているんですね。

データはデータなんです。ちゃんとした分析をしたデータなんですけれども、もし酸素の分析をしていなかったと考えると、それは恐ろしいことで、これをその当時の青銅を作っていたときの組成だと勘違いするんです。だから、ちゃんとした分析をするのは大事だということを僕は学びました。観察が大事。それもデータを使った観察です。普通に見ると、もったいないです。切ったのに、何でデータとして使えないのか。金属はちゃんと光って見えるんですけど、でも、実は微細組織の中で腐食が進んでいて、

その腐食を無視して測ると、間違ったデータを読み取って、それは間違った解釈になるということが分かりました。端的に言いますと、変化してしまふ。嘘のデータが見える。

データは本当なんですけれども、間違った解釈を生むようなデータがそこに潜在していたということが分かりました。

それで、酸素を測っているものと、測っていないものを見比べてみると、実は酸素を全然ケアしていない、測っていないのを見ると、広い範囲だったのに、酸素を測ったものは、数は減ります。九〇から七〇に減りました。けれども、この範囲に収まった。すごく狭い範囲に収まってくる。一二パーセントから二一パーセント。これは銅と錫の比率で考えた錫の量なんですけれども、これだけの範囲にしかないということが分かってきました。

それを解釈すると、ほぼほぼ九〇〇〇〜一〇〇〇度で、大体均質的な、同じようなところに——先ほどは一〇〇〇〜八〇〇度までありましたけど、収まってくる。実際に製造のときに使っている熱というのは、これより遥かに高いところで固化させるわけなので、実際の温度というのはこれより高いはずではあるんですが、実際の、事実上、鑄造、固体が固まり出す温度というのは九〇〇〜一〇〇〇度ぐらいの範囲に収まっているということが分かります。

ここは覚えておいてください。一二〜二一パーセント。後で鍵になる数字です。

まとめ一です。まだ一です。四まであります。表面の観察だけでは青銅器、中身のことがよく分かりません。だけど、中身をちゃんと観察することで、当時の鑄造技術が分析によって分かることができる。だけれども、そのときに注意して酸化の状態を見ないと、情報を見間違えるということが分かってきました。

現代の話に戻りますが、青銅というのは、物性、物理的な特徴もあって、だけど、ちらつと見せた標準物質、僕が作った標準物質。錫の量がない、つまり銅だけだと赤い色をしている。錫が増えるに従って白くなる。こういうのも一つの物性なんですけれども、色が変わる。つまり、錫の量が増えるに従って、硬さも変わっていきます。いろんな数値があるんですが、硬さ、引っ張りに強いとか、伸びに強いとか、衝撃に強いとかという物性が分かっています。

あとは、もう一つ、おもしろい物性で、錫の量が三三パーセントを超えると、ものすごく硬いんですけれども、ものすごく脆くなるんですね、ガラスのように。これは普通に金属を溶かして、さっと坩堝から流せば、こんな組成の青銅器ができるんですけど。さて、鑄型に流すと鑄型を外すときに、金属ごと全部壊れてしまうんです。なので、現代においても錫が三三パーセント以上入っている青銅というのは、普通の鑄造では作れない。この数字もけっこう大事なので。後から出てきます。

それから、溶けている状態の液体の物性というのもあります。物性というか、粘性ですね。さらさらと流れるか、流れないか。どろっとしているか。金属がどういう流れなのか。液体になったときに、水あめのようにある場合、粘性が高いと言います。水のように流れれば粘性が低い。実は青銅が液体になって溶けている状態では、錫が増えれば増えるほど、さらさらと物性が変わるということも分かっています。これは現代の知識です。

そして、殷墟の青銅器を分析したところに当てはめていきました。全部、酸化していないものです。これを器種別に、ヘルメットであるとか、容器であるとかというふうに分けていきますと、突出しているものがあって、これはヘルメットなんです。ヘルメットなので武器の種類だとしましょう。それから、容器類というのは錫の量が多少高い。そういうことが分かってきました。

何でかというので、物性に戻ります。これはちよつと単純化したものですけれども、引つ張りに強い。それから、だんだん硬くなつていく。錫の量が増えると、だんだん引つ張りに強くなつて、ある時期を超えると、すばんと弱くなるんですね。つまり、物としてここが一番硬い。それで、殷墟の青銅器も結果は何か。そうすると、一致するんですよ。こういうときに僕ら科学者というのは鳥肌が立つんです。つまり、分かっていたんじゃないかということです。

では、これは？ 容器。立体造形。殷墟の青銅器の特徴を覚えていますか。何と読みますか。饗養文。きやうようもん。鑄型は、これは電子顕微鏡の写真なんですけれども、拡大写真ですが、二ミリメートルの中に一本だけじゃないんですよ。二本とか三本とか、線が入っているんですね。深さが一ミリメートル、二ミリメートルのものすごく細かい造形なんですけれども、ここに溶けた金属が流れ込むからこそ、こういう造形ができるわけですね。つまり、どろっとした水あめのような青銅が流れていたらできなくなります。だからこそ、粘性が低いものを要求されて、それをわざわざ作って流していたんじゃないか。容器なので、特に硬さも要求されないだろう、造形ができればいいだろう、そういう解釈を僕はしています。鑄型に詰まらないように、stickしないように流れれば、物ができるといっわけです。からね。

まとめ二です。銅と錫の比は器種ごとにおおむね一致していて、それから、殷墟期においては、用途や鑄造の特徴に応じて青銅の化学組成をわざわざ変えていたのだろうというような可能性が強いんじゃないかというふうに解釈をしています。

ただし、これは仮説なんですけれども、恐らくこれが当てはまるのは殷墟期だけで、その後の西周、漢、現代においては、あまり当てはまらないんじゃないかというふうに僕は考えています。なぜならば、再利用が始まります。ス

クラブにして、金属だからもう一回溶かせるんですよ。

スクラップにして作り始めると、もとにあった金属の組成が分からないものを混ぜて溶かして使うわけですから、この法則が当てはまらないんじゃないかというふうに、今考えています。分析したくしょうがないんですけど、分析できないですから。多分、永遠の謎だと思うんです。ただ、殷墟に関しては、作って埋めてしまっているので、王様の墓なので、決して再利用はないだろうというふうに考えています。ただし、これは非常に難しい問題で、この時期に再利用があったかどうかというのも、また難しい問題です。

「六斉」に戻ります。これが殷墟期に作られたもので、実際に殷墟の青銅の範囲というのを考えると、もちろんこっちは铸造できませんから、どういふことかというところ、ここは解釈を間違っています。戻します。三三パーセント以上の青銅器は作れない。鑄型を使って铸造できない。だから、解釈が間違っている。もともと、こちらの解釈は二対一を一对一というふうに比率で解釈するだけなので、戻しますと、五〇パーセント。おかしいんですが、さらに戻しますと、ここなんです、実は。この相図は、単に解釈だけ言いますと、五〇パーセント、五〇パーセントの青銅はできませんよということが書いてあるんです。もともと分かってはいるんです。現代の冶金はもう分かっている。だけど、解釈は分かっていたいなかった。

もちろんこれは二〇世紀後半の技術によって分かったことなので、二〇世紀前半で古文書を解釈しただけではこういうことは分からないんですが、ここです、文系がちょっとおかしいなと時々僕が思うのは。先行研究があるからといって、それを鵜呑みにしていると、間違った解釈がその次に繋がっていくということもありますので、新しい見方をし始めたときには、先行研究であろうと見直すということも大事だと僕は思うようになりました。五〇パーセントはできないんですから。

戻しますと、ここですね。四〇パーセント、五〇パーセント、こういうところはできない。あるいは、三三パーセント、三分の一、これもできないということになります。この解釈は……。もちろんここはほぼ間違っています。では、これを銅として、例えば六、一というのは六対一で解釈するというほうが正しいということですね。これは一对一ではなくて二対一で解釈すべきだということです。でも、ここは錫が高過ぎるので、ちょっと疑問に思っている。ただ、古文書の解釈では、分析したものや、あるいは現代冶金の情報と照らし合わせたときに、この解釈は間違っていますよということだけは言える。

さらに疑問を持って、今、何パーセント、何パーセントとずつとしゃべってきたのは、全部、重量の比率でしゃべっているんですけども、はたと気づきました。先ほどお見

せした写真ですけど、僕らは何をやっているかというところ、
鑄造の実験のときに溶かします。戻しますと、何をやって
いたかというところ、重さを量っているんですよ。これは現代
人の常識なんです。重さでもって比率を決める。「wt%（重
量パーセント）」と書きますが。つまり、これを普通に解釈
すると、銅を五つ取って、錫を一取って混ぜる。例えば
五〇〇グラムと一〇〇グラムというふうにしましょう。そ
うすると、こういうふうに計算ができますね。単純な割り
算で、百分率です。これで現代人は考えてしまう。

だけど、「重さの概念」というのはいつ生まれたんでしょう
か」ということを、考古学の人にあるとき言われて、勉強
してみました。これは、古代アジアにおける分銅の編年と
いう研究を、池袋にあるオリエント博物館の学芸員の堀先
生という方がやっていらして、中央アジア、今のアフガニ
スタンあたりで最初の分銅が発掘された。それが紀元前
四千年なので、おおよそ六千年前ですね。その中央アジア
からメソポタミア、西アジアに行つて、インド、中国に技
術が伝播してくるというようなことが研究されています。

中国はここです。どういう時代なのか。あるいは、また
別な古文書で、一般的に重量単位の出現は、中国で長さ
や容量の単位よりも遅れている。中国で重量単位である
斤——一ポンドという意味ですけども、これは戦国時代
以降。戦国時代というのは、西周よりさらに後です。

ここに当てはめると、こうなります。商があつて、殷
墟があつた時代は、中国にはまだ重さの概念は来っていなかつ
た。届いていなかった。なかったとなると、では、我々が
標準物質だ、化学組成をちゃんと決めなければと、やって
いたあの重さのパーセントは何？ということですよ。つまり、
重さの概念がなかった。重さで量つてなかった。

物の量り方というのは実は二つあると、皆さん、体で覚
えています。一つは重さ。もう一つは、かさです。コカ・
コーラのペットボトルを一キログラムと言わないでし
ょう。何ミリリットルと言うでしょう。実はインゴット、金属の
塊ですが、殷墟の時代でも、銅のインゴットと鉛のインゴッ
トは発掘されているんですが、錫のインゴットがまだない。
ずっと発掘していてもまだない。錫器、錫の金属だけでつ
くった製品というのもあるんですけど、それが登場してく
るのが西周の時代と言われています。まだ殷の時代、商の
時代にはなかったと言われている。きつと誰かが後で発掘
して、この僕の仮説を壊してくれるのかもしれないですが。
では、かさでとるとどうなるか。金属というのは、それ
ぞれ密度があつて、同じ容積でとると、重さが違うんです
ね。これが密度です。これを計算して重量パーセントに戻
すということをやると、ちよつと複雑なんですけど、五対
一で、密度を掛け合せてあげると、若干軽くなるんです
よ。これに気づいて再計算をした。その結果がこれですけ

れども、そうすると、一二パーセントまで軽くなる。つまり、殷墟の時代は重さの概念がなかったし、どうも分析している数値もちよつとずれているので、やはり殷の時代は容積で量っていたんじゃないか。

どんなかさで量っていたか、分かりません。一カップ。アイスクリームを一カップとる。レーズンが入っていれば重いだろうし、バナナだけだったら軽いだろうしという違いなのか、それはよく分かりません。その辺は次の世代の人が研究してくれるのかもしれませんが、ちよつと違う。

なので、我々の解釈なんですけれども、「金有六斉」を解釈するときにおいても不都合が起きるので、重さによる配合を考えるより、容積、かさでもって考えたほうが、より調和的ではないかというふうに思っております。

まだ三です。もう一個あるんです。

それでも観察を続けていくと、こういう青銅の中に酸化錫が時々見られる。金属錫が残っているわけじゃなくて。これは組織はきれいで、腐食していないんですけれども、腐食していない金属の中に酸化錫、tin oxide、そういうのが取り残されているときがある。これは一例だけじゃなくて、今のところ六個見つけたんですけれども、これは何だろうと考えて、ふと思ったのが、酸化錫というのは錫石という鉱物を思いました。

錫石というのは、今マレーシアでもたくさん錫石が採れ

ます。錫石を精錬して、錫という金属にして、日本は輸入しています。もちろんそれを使って青銅を作っているんですが、現代社会においてもほとんどの錫の原料はこの錫石なんです。錫石を直接使って、精錬あるいは鑄造したらどうなんだろうかというふうに考えて、これは単なる仮説に基づいて計算でやっただけなんですけれども、これがさっきのかさで量ったもので、これがもとの「金有六斉」のもの。錫石を使ったもので鑄造すると一〇〜二五パーセントまでになる。さらに近づいてくるんです。

どういうトリックかというと、まず仮説は、錫のインゴットがないから、直接錫石を使って錫を取り出してきたのだろうかというのを思ったんですが、化学式は多分今日はこれだけしか出て……、後で出てきますけれども。錫石を燃やす。炭素で、炭で燃やす。そうすると、一酸化炭素と金属錫になる。こういう式です。熱エネルギーの計算をする、と、九〇〇度ぐらいでこういう反応が起きる。これを還元状態で精錬すると言います。smeltingです。燃やすんだけれども、酸素を使わない燃やし方なんです。これをやれば簡単に錫石から錫がとれるということが、理屈上ではできるんですけれども。

では、実際にやってみますというので、錫石の粉を買ってきました。また三船先生のところに行って、実験をやりました。そうすると、これは普通の木炭でやっただけ

ど、素人の僕がやってもできてしまうんです。簡単に精錬ができる。これをいくつか実験をやりましたところ、ちょっと回収率が悪い。精錬はするんだけど、見込みほどちゃんとれないというのが分かって。だけど、意外と簡単に精錬はできるというのが分かりました。

では、手取り早く錫石を使って鑄造してしまつたらどうか。つまり、銅のインゴットと錫石を混ぜて熱すれば青銅ができるかどうかやってみて、それで青銅ができたらいんじゃない？という事で、これは、坩堝の中に銅を入れて、錫石。白い粉です。上に炭を被せて窒息させます。酸素が入らないようにして、還元状態にする。これでもつて火にくべて流す。そうすると、青銅ができる。意外に簡単でした。

これが実際に実験した青銅片です。金属・金属でやった鑄造も、金属・酸化鉄でやった鑄造も、同じように金属組織ができている。青銅ができるということですね。

これをいくつかの条件を変えて、錫の量をコントロールできるかどうかという実験をいくつかやっただけですね。実験一〇〜一九。一〜九は予備実験をやっている。一九というのは、わざと窒息させない実験をやりました。ただし、その上、いろんな組成を変えてやったら、悉く全部できました。なので、コントロール、つまり金属組成を変えて鑄造することはできるということが分かった。

では、この最後のおかしな実験に関してはどうだったかというと、窒息させなかったものだから、錫石がそのまま青銅の中に残っているんですね。金属はできるんだけど、反応が不十分で錫石が残る。これこそが殷墟の青銅器の中から見えた錫石の理由なんじゃないかというような論文になりました。

それを解釈して、錫石を直接、使つても鑄造ができるだろうというところまで今、研究が進んで、論文には書いてみですけど、あまりみんなが理解してくれない。

実験してみるといろんなことが分かって。唯一、これだけは確実に言えることは、殷の時代でも還元技術、金属を還元する、あるいは酸化錫を還元して青銅を作るというような技術がもうちゃんと確立されていた、あるいは、きちんと理解されていたということが分かりました。成果としてはここです。還元技術が三千年前にはできていたということが分かります。

今はさらに還元を使う。これは昔ながらの甗こしきろと言うんですけれども、こういう直接火をくべて、木炭を燃やして、金属を中にくべるんですね。これはギャラリートークでいらつしやる樋口さんというおじさんです。彼の協力を……。これは僕です。「月桂冠」と書いてある、僕は炭をくべている。こういう実験をやつて、古代の鑄造法を検証しているという実験を今やっています。

時間は結構過ぎたんですけども、あとは玉器の話がありますけど、どうしますか。しますか。青銅器の話はここまでです。

人間は緑が好きだ。青銅も緑なんですけど、これは鈴木さんがつくったポスターですか。これなんて緑ですよ。緑の石も好きだという話を今からしますが、すごく飛ばしていきます。

ヒスイ。大体、緑っぽいんです。本当は白いですけど。これが故宮にある白菜^{ばいさい}。これが日本の縄文時代には大珠と言われるヒスイ。それから、これがマヤ文明で使われているヒスイです。全部、自分の写真です。

ヒスイとネフライト。硬玉、軟玉という言い方をしますけど、玉^{ぎよく}というネフライトというのがありまして、例えば先ほどの殷墟にもこういう玉製品がある。これはネフライトです。ヒスイじゃないです。台湾にも玉の文化があって、これもネフライトです。それから、東南アジアにも玉の文化があって、それもネフライトで作られている。一緒に「玉」あるいは「jade」と言いますけれども、実は地質学的には二つ、ヒスイとネフライトという石があって、東アジア・東南アジアの先史時代の玉器はほぼほぼネフライト製なんです。日本の縄文時代は除きます。日本の縄文時代はヒスイがあります。

では、日本の縄文時代にはネフライトはなかったのか。

写真でお見せしてもあまり意味がないんですが……。いろんな色があるので。ただ、緑色の玉が好きだというのが何となく……。化学組成でいきますと、ネフライトというのは、鉱物的にいいですよ、角閃石という鉱物の仲間の塊の岩石です。ヒスイというのは、輝石と言いますが、輝石という鉱物の塊の岩石です。それでヒスイと言います。化学組成は大きく違うので、分析さえすれば簡単に分かってしまう。分析できれば。

ネフライトの場合は、白いネフライトは……。中国のホータンをご存じですかね。内陸部にあるんですが、中国の玉というのは、白いネフライトが多いですね。今から見せる台湾とか東南アジアというのは、緑色の玉を使っている。これは化学組成が多少違って、何が違っていかというと、鉱物の中に含まれる鉄の量が多くて、鉄が増えていくと、緑が増えていく。こんな特徴があります。同じ緑色の石の蛇紋岩というものがあるんですけども、蛇紋岩も実はこのマグネシウム、マグネシウムのところに鉄が入ることで緑色になっている。だけど、ヒスイとネフライトを比べると化学組成が全く違うので、こういうのも簡単に見分けることができる。分析さえできれば。人の目だとなかなかよく分かりません。僕も自信がありません。僕は岩石学者ですけど、いつも間違えます。

玉の産地。緑のネフライトと白いネフライトとヒスイが

ありますが、とりあえずこの三二番のロシアのヒスイを除いて全部コレクションしまして、データベースを作りました。それぞれ特徴が違うということが分かって、特徴が違うのが分かれば、どこから来たかが分かるだろうという目論見なんですけれども。特に台湾のネフライト。台湾に住んでいますし、この花蓮という東の町があるんですが、そこでネフライトの鉱床フアイリンがあつて、一九八〇年代は世界で一番ネフライトを産出していました。

実は多分、日本統治時代は、ネフライトと、周りに蛇紋岩があつて、そこで日本の殖産局が資源開発をしていたんですけど、そのときに採っていたのは何かというと、工業用のアスベストです。アスベストの中にネフライトがあるんだけど、日本人は見向きもしないで捨てていたんですね。日本が帰つて、中国人がやつてきて、ここに鉱山があるよと言つたら、ネフライトがごろごろしていたので、ネフライトの産業が生まれたんです。それは現代のネフライトの産業です。

こんなような色をしています。ただし、古代の台湾に住んでいた人たちは、こんなものを作っています。これが今から二千年ぐらい前の石製のアクセサリーです。長さは四〇五センチメートルぐらいしかないですけれども。天然のネフライトの緑色と、時々ほくろみたいな黒いのがありますね。それが同じようなものがあれば、台湾は島だし、

遺跡からたくさん出てくるし。どれくらい出てくるかというところ、一〇〇カ所ぐらいの旧石器の遺跡から出ています。四千二千年ぐらい前の遺跡ですけれども。鉱床、ネフライトが採れるところは、この限定的な地域にあるので、ここで採つたものが、台湾で消費されていたんだらうというふうに解釈されている。自然な解釈ですけどね。製作遺跡がありまして、そこに行くと、原石も落ちていれば、加工している途中のものもある。

これは台東という町にある遺跡なんですけれども、こういうネフライトの文化で、二万点の……。

そして、南に行くとフィリピンがありますけれども、フィリピンに行つてもこういうものがとれる。どうもここでも作っていたらしい。工作して残つた破片がたくさん発掘されている。これも全部分析して、全部ネフライトでした。

さらに、ルソン島まで行くと、こういう白いネフライトもある。これはさっきお見せしたように、鉄がほとんどないネフライトで、白いものです。その代わり、緑のものもある。それから、緑に似せた色の石英があつたり、雲母があつたり、滑石があつたりする。こんな装飾品もある。

台湾に比べると、フィリピンというのは今までのところ一六カ所ぐらいしか、ネフライトの遺物が発掘されていませんが、それでもいろいろ展開している。中でもパラワン島と言つて南西部にある島なんですけど、リゾートアイラ

ンドですけど、そこに行くところなのがある。旧石器時代から鉄器時代にかけての遺物ですけども。印象的じゃないですか。三センチメートルぐらいの耳環です。発掘品の中の頭蓋骨の耳のところから出てくるので、耳環というふうに思われているんですが、これが実はベトナムからも出てくるし、マレーシアやボルネオ島からも出てくるし、出土されているし、こういう南シナ海沿岸地域に認められる。これは発掘されているものですので、事実です。

では、それを分析させていただきましよう。これは天然の試料なんですけれども、ちよつと分かりづらいんですけども、これでネフライトというのが分かります。さらに、黒いほくろみたいなものがありますけれども、それを測ると、クロム鉄鉱ということが分かりました。さらに、そのクロム鉄鉱の中に亜鉛が入っている。こんな特徴が台湾のネフライトの中にある。それも東南アジアで見ると、こういう特徴をもっているのは、台湾ともう一カ所あるんですが、この地点と台湾にしかなかった。

化学組成をみっちりちゃんと分析できることが分かったので、これはマニラにあるフィリピン国立博物館に展示されているものを、三年がかりで口説いて台北にお借りして、台北で測りました。表面組織はこのように石なんですけれども、木のようにすぐく繊維が発達しているんですね。これが石としてすぐくタフ。打撃にすぐく強い特徴を示して

いて、ネフライトというのは、これは装飾品なんですけれども、新石器時代には石斧として使われていたんです。これはどの石よりもタフという石なんです。そういう特徴というのは、こういう繊維状の組織からきている。

分析をきちんとできるようにしまして。これはなかなか大変な分析だったんですけども、日本電子さんのおかげで。

フィリピンからベトナムに至る地域の遺物を分析したら、全部、台湾ネフライトの特徴があるということが分かって、これは、例えば言語学と合わせると、オーストロネシアンという言語グループがあるんですが、文字をもたない、南の島に住む人たち。一番東はニュージージーランド、一番西はマダガスカル。ポリネシア、ミクロネシア一円に広がっている民族がいるんですけども、その中の言語グループの一部、ウェスタンマラヨポリネシアンというグループの分布域をこの赤線で示しているんですけど、それに大体被るような地域に分布しているということが分かって、恐らく同じ言語グループで、同じ価値観をもっている人たちが、何らかの形で交換していたんだろうというふうに解釈しました。これはもう一〇年前の論文なんですけれども、アメリカ科学アカデミーという論文で発表しています。

最近は分析が進んでしまつて、なかなか借りてくることができないので、自前でこつちから行って分析しましょう

という分析を始めまして、一番最初にご紹介したこういうポータブルなX線の装置を現地まで持っていて分析をする。ベトナム、タイ、それからミャンマーに行つて分析をしているんですけども、こんなようなことが分かると、例えば鉄の少ないネフライト、鉄の多いネフライト、科学的な特徴も違うし、作っているものも違う。

あとは、もう一つ、おもしろいのは、これはどうも中国系の影響を受けているのが、玦状耳飾り。日本にもありますけれども。こちらがリンリンオーと呼ばれる突起のある耳飾り。言語グループも違うし、文化的な背景も違う人たちが、同じような石を、少しずつ違うんですけど、使つて生活をしていたということが分かるようになってきました。

北と南でベトナムは何が違うかというと、古い言い方をすると、オーストロアジアンという言語グループとオーストロネシアンという言語グループに分かれる。文化的な背景、言語学的な背景、それから物も多少違うんですけど、こんなようなことが分かるようになりますというふうな話です。

実はその研究を日本に應用して、縄文時代の遺物を分析しました。これは縄文時代のものじゃなくて、江戸初期に作られた富山城の城壁から、石垣から玉石が出てきたので、これは何だろうか、分析してもらえないかと言つて依頼されて分析したものでんですけども、実はネフライトでし

た。日本にも実はネフライトが採れるところがあつて、ヒスイと同じようなところで採れます。三カ所ありまして、糸魚川青海。これは本当にヒスイが採れるところです。それから、白馬八方尾根です。長野オリンピックでダウンヒルをやつたところです。それから、飛驒の丹生川村というところで採れるということがあつて、三カ所全部調査して、原石を拾つてきて分析をした。

ただし、丹生川村では、後で写真が出てきますが、それと縄文時代の遺跡で緑っぽい遺物があるもので、それも分析させてもらおうと。こんなようなところに調査に行つて。山深い、雪深いところです。

これがヒスイ海岸と言われる富山の……。富山に行くのは、ヒスイの研究もできるし、青銅器の実験もできるので。そういう理由もあつて富山は大好きなんですけど。学生時代も過ごしました。

それで、飛驒にも行きました。これは旧丹生川村といつて、ここで川沿いを歩いてヒスイを採取してきた。残念ながら、これはダムの中に今、沈んでしまつて、採りに行けません。なので、これが三つだけ。唯三です。他は誰ももう分析できないので。

これの鉱物組成を分析すると、三つの産地は大まかに特徴が違う。ここはオーバーラップするんですけども、白馬で採れたものと糸魚川で採れたものがオーバーラップす

るのはなぜかというと、実は流系が同じ姫川流系といって、川が同じなので出てくる。こちらの八方尾根の平川は、谷筋が違うんですけど、谷筋が変わると組成が違ふ。あるいは、岐阜県のスィー——これは実は飛騨スィーと呼ばれているんですけど、スィーじゃなくてネフライトです。そういった誤解も言葉の中にあるんですが、全く違う。

これをさっきの石垣からとれた玉石に当てはめると、組成が一致するので、この玉石は糸魚川あたりから来たんだろうということが分かりました。これは富山県の考古学会の報告に書きました。

それで、では、縄文時代の石斧をやりましょうかということで、一昨年、去年、今年と分析に行っているんですが、こういうふうに機材を持ち込みまして分析をする。縄文時代の石斧というのは、日本の考古学の人たちは蛇紋岩で作られていると記録しているんですけども、一〇〇個、分析しても五個しか蛇紋岩じゃなかった。なかなか記載は難しいです。だから、この辺を少しちゃんと分析して記録を書きかえていかなきゃいけないんじゃないかなというふうには思っています。

一番最初に所属のことを言わなかったんですけども、今、金沢大学にも所属がありまして、その所属を利用して日本の科学研究費をとって、この研究をしています。「その研究をやりたいんだったら、うちに籍を置いておいていい

よ」と言われたので、金沢大学にお世話になっているんですけども、それで分析をして、蛇紋岩と言われているものは蛇紋岩じゃないよということを今突きとめていって、簡単な結果はもう報告があります。

ネフライトがたくさん作られているということが分かった。一部お借りして、台北に持ち帰って分析してあげると、ちゃんと数字が出てきて、縄文時代の富山の遺跡から発掘された、一つは小竹貝塚といって、今、日本で一番人骨が発見されて、五七体でしたっけ、DNAの研究とかも進んでいるんですけども、北陸新幹線の下にもう埋まっちゃっているのでもないんですけども、小竹貝塚という人骨のDNAの研究が進んでいるようなところでも、ちゃんとネフライトの石斧が出てくる。そういういろんな概念が変えられるような貝塚遺跡があるんですけども、その研究をやっています。

その石斧の材料物質がどこから来たかというところ、こういうデータベースさえあれば、白馬・糸魚川地域から来ている、つまり、五〇キロメートル程度でそんなに距離はないんですけど、人はある特定の岩石を選んで使っていたということが分かるようになってきました。

それで、東南アジアとか、台湾とか、いろんなところで学会発表すると、「俺のところにも来いよ」と言われて、ミャンマーにこの間行ってきたんですけども、ミャンマー

にも実はこういう製作遺跡があつて、これは本当に、踏査と言つて、この辺に遺跡があるんじゃないかと思つて考古学者と一緒に歩いているんですけれども、そこでたまたま足に引っかけた石を拾い上げたら、こういう丸い、まさにここで工作していたということを示すようなネフライトが見つかったんですね。これを持ち帰つてきまして分析しました。

今年の一月に行つたんですけど、今度はこういう発掘品が出てきた。スケールはちよつと違うんですけど、抜いた後。抜かれた製品。色は同じ。組成も一緒。距離は五〇キロメートルぐらいです。こういうことが分かつてきた。ネフライトという文化。ミャンマーというのはヒスイで有名なんですけども、実はネフライトの文化も古代にあつた。これは青銅器時代で、今、年代の測定もしているんですけど、おおよそ三千年ぐらい前。これも少しずつ発表していて、でも、まだ一五個しか確認していないんですね。発掘は進んでいますので、今年も来年も続きますので、だんだん増えていくだろうと思います。

それから、化学組成上も特徴がいろいろ見えてきましたので、今のところこういう北部地域、これはパカーンと呼ぶんですけれども、このパカーンという地域は、実はヒスイの産地でもあるんですね。ミャンマーのヒスイ。そこに行つて、原石さえ採つてくれば、ここから持つてきたのだ

ろうと。距離にして二〇〇〜三〇〇キロメートルぐらいです。山岳地帯から平原地帯におりてくる。

ミャンマーの新しい考古学の歴史が変わる。ミャンマーの歴史が変わるということは、インドと東南アジアを繋ぐ、あるいはインドと東アジアを繋ぐ考古学的な歴史が変わるというような研究に携わっているんですけれども、いかにせん外国人立ち入り禁止区域で、行くと殺されるから行かないほうがいいと言われているので。ゲリラ地域なんです。ここはヒスイもあるんですが、麻薬地帯なんです。今プライベート・アーミーと言つて、豪族がいろいろ幅をきかせているところで、ミャンマー政府もあまりコントロールできていないところがあるので、いつか平和になったら行きたいなど。

ベトナムも、僕が子供だったときは戦争をして行けなかったわけですから。戦前も日本と中国は戦争をしていて行けなかったわけですから。戦後ぐらいか。いつか行けるんだろうと。平和な時代がくれば考古学が研究できる、自然科学も研究できるというふうに思っています。むしろ相手を知りたい、相手を知ることによって、戦争なんか起きないだろうというふうに僕は思っているんですけれども、「何のために考古学をやっているんですか」と言ったら、僕は「世界平和のためです」というふうに、一回言つたことがあつて、大笑いされたことがあるんですけれども、でも、それつ

てありだなというふうに僕は思っています。

新しい説として、台湾から東南アジアにネフライトが運ばれていたという話、これは事実です。それから、新しい、北部ミャンマーから東南アジアの西側ですけれども、マレー半島のほうに行っていたんじゃないかというような仮説も、今思っておりまして、研究チームでこれから検証していきたいと考えています。それから、ミャンマーではヒスイの遺物がなかったんですけれども、これも今年の一月に初めてヒスイの装飾品を一個だけですが、見つけて、これも新発見なので、いつかまたきちんと論文にしてご報告できるようなことがあればと思っています。

こんな話をちよつと学会でしたら、「俺のところにも来いよ」と言われて、先月グアテマラに行ってきました。グアテマラのマヤのヒスイの研究も、「じゃあ、これからやりましょう」と。三つのヒスイ文化を持っている日本とミャンマーとグアテマラ。地質もわかって、遺物も見られるというのは、世界で僕しかいません。これはすごいなと思って、もうちよつと長生きしたいなと思っています。

そんなわけで、今はいろんな人たち、フランスのお金も使ったり、ナショナル・ジオグラフィックのお金も頂いたり。それから、この会社があつてこそその研究だったりするんですけれども、日本電子。昭島にあります。明日お出かけして打ち合わせもしますけれども。日本の技術と日本の

科学、日本の考古学はすごくおもしろいので、もし若い人で——今日はあまり若い人はいないですけど。もし出版の方がいれば、僕はいくらでも本を書きたいと思っているのでご紹介ください。

長くなりましたけれども、今日はこんな話をしました。ありがとうございます。

それから、ヒスイの話についてもし興味があれば、二月に東北大学で「知のフォーラム」というのを、これは英語なんですけれども、こういう学会がありますので、二月にお出でください。僕は二月から東北大学の客員教授になりますので。三カ月しかいませんですけど、そこでこういうフォーラムをやります。

それから、アメリカにもし行く機会があれば、四月に学会があつて、これはバンコクで六月に学会があつて、あとは二〇二〇年にフランスで学会があつて、同じヒスイの話を少しずつ組み合わせてしゃべってきますので、もし機会があれば。

Eメールアドレスを書いておきますので、もしご興味があれば論文のPDFをお送りすることも可能ですので、どうぞ、こんなあほなことをやっているやつもいるなという程度で結構なんですけど。

ご清聴ありがとうございました。

【付記】学術的な内容については、左記の報告をご参照下さい。

飯塚義之・内田純子(二〇一八)「金相化学分析と鑄造実験から見える古代中国・殷墟青銅器の鑄造技術」『埋蔵文化財ニュース』一七一、二二―二七頁、奈良文化財研究所埋蔵文化財センター (ISSN 0389-3731)

内田純子・飯塚義之(二〇一七)「從殷墟青銅器化学分析重新解讀中国古代鑄造技術」『故宮學術季刊』三四―四、一―三八頁

飯塚義之・内田純子・廣川守・三船温尚(二〇一七)「錫石の製鍊と錫石を用いた青銅の鑄造実験」『FUSUS (アジア鑄造技術史学会誌)』九、二五―四四頁

飯塚義之・古川知明・中村由克(二〇一六)「富山城石垣土塁から出土したネフライト玉石の来源」『大境(富山県考古学会誌)』三五、六七―七二頁

Iizuka Y., J Uchida (2014) Electron Microprobe Study of the Yinxu (Anyang) Bronze of Academia Sinica Collection, *JEOL news* 49:35-42. ISSN 1349-6832

飯塚義之・内田純子(二〇一三)「殷墟青銅器の化学組

成からみた古代中国の鑄造技術」『中国考古学』一二、一二三―四七頁

飯塚義之(二〇一一)「考古鉦物学：低真空走査型電子顕微鏡(LV-SEM)による玉器の分析とその成果」『日本電子ニュース』四四、二三―三九頁 (ISSN 0386-6572)

飯塚義之(二〇一〇)「台湾産玉(ネフライト)の拡散と東南アジアの先史文化」菊池誠一・阿部百合子編『海の道と考古学―インドシナ半島から日本へ―』五一―六五頁、東京：高志書院 (ISBN 978-4-86215-085-1)

Hung HC, Y Iizuka, P Bellwood, KD Nguyen, B Bellina, P Silapanth, E Dizon, R Santiago, I Datan, J Manton (2007) Ancient jades map 3000 years of prehistoric exchange in Southeast Asia. PNAS (*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*), 104(50): 19745-19750.